

**ОПЕРЕЖАЮЩИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ**

М.И. Копылов, И.В. Пустовойтова

Федеральное государственное унитарное геофизическое предприятие “Дальгеофизика”, г. Хабаровск

Проведение опережающих комплексных геофизических, петрофизических исследований позволяет использовать различные корреляционные зависимости между физико-механическими свойствами пород и геофизическими параметрами с целью выделения наиболее перспективных участков для постановки поисково-разведочных работ на строительные материалы (камень, песок, глины), что существенно ускоряет процесс изучения месторождения и сокращает объем дорогостоящих горных и лабораторных работ.

Ключевые слова: строительные материалы, поиски, магниторазведка, электроразведка, физико-механические свойства, месторождения, Хабаровский край.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОБЛЕМЫ

Несмотря на высокую эффективность геофизических исследований, внедрение их в практику при поисках строительных материалов сдерживается факторами кажущейся лёгкости их поисков и разведки, а также слабой освещённостью этого вопроса в справочной и научной литературе.

Специфическими особенностями поисков строительных материалов являются сравнительно небольшие глубины исследования, относительно слабые отличия искомым объектов от вмещающих пород по физическим свойствам и петрофизическим характеристикам, а также различные требования отраслей строительных предприятий к качественным характеристикам стройматериалов. При обоснованном проведении и рациональном выборе комплекса геофизических, петрофизических, геологических исследований может быть решён широкий круг геологических задач: оконтуривание границ объекта, уточнение особенностей геологического строения месторождения строительных материалов, установление прогнозно-поисковых критериев по выделению перспективных для поисков участков, выявление и разведка продуктивных толщ с количественным определением и подсчётом ресурсов. Применение геофизических исследований позволяет уменьшить объёмы тяжёлых методов разведки,

сократив тем самым сроки работ и снизив стоимость общего цикла поисково-разведочных работ.

Назначение статьи авторы видят в целенаправленном освещении различных методик геофизических и петрофизических исследований для геологов и геофизиков, занимающихся поисками и разведкой строительных материалов, обеспечении их рекомендациями по применению и комплексированию геофизических методов для различных типов месторождений.

Принципы комплексирования геофизических и петрофизических исследований как в рудной, так и нерудной геофизике в настоящее время развиваются на основе системного анализа и учёта объективных возможностей каждого метода [1, 2]. К наиболее общим принципам комплексного проведения геолого-разведочных работ относятся включение в рекомендуемый комплекс методов, изучающих различные физические поля, выделение в рациональном комплексе основных и вспомогательных методов. Включение конкретных методов и их модификаций в рациональный комплекс базируется на двух принципах, взаимно дополняющих друг друга: 1) качественно-эволюционном отборе наиболее эффективных и экономичных методов (модификаций), исходя из опыта в исследуемом и других регионах мира; 2) количественном системном подходе, позволяющем производить подбор их на конкурентоспособном уровне.

При недостаточном знании о физико-геохимических свойствах объекта, на первоначальном этапе его исследований применяют несколько геофизических методов или их модификаций с различной величиной разносов и шагом измерений. Выбор наиболее эффективного комплекса производят при постановке опытных работ на наиболее изученном разрезе. При длительном периоде работ в одном районе процесс оптимизации комплекса геофизических методов является непрерывным в связи с накоплением новых геологических, геофизических и петрофизических данных.

Для выбора и обоснования рационального комплекса геофизических методов вначале формируют физико-геологическую модель объекта исследований. На первом этапе для построения графического или цифрового изображения модели используются данные лабораторных измерений физических свойств по образцам, отобраным при геологических съёмках масштаба 1:50 000, при поисковых работах и других исследованиях, формирующих сведения о геологическом строении разреза, литологических разностях, слагающих объект. В случае отсутствия петрофизических данных об объекте принимаются данные справочные или по аналогии с другими районами.

При известной абстракции и схематичности модели первого этапа исследований, в ней должны быть отображены хотя бы фрагментарно: литологический состав объекта, вмещающие породы, их однородность, тектонические нарушения, трещиноватость, минерализованность и т.д. По мере производства работ и получения новых геологических, петрофизических и других данных модель уточняется. Но в процессе формирования модели необходимо задаваться определённым уровнем генерализации с тем, чтобы не усложнять модель геологическими, петрофизическими, геофизическими подробностями, не оказывающими существенного влияния на оценку рациональности рекомендуемых комплексов геофизических методов.

В качестве строительного камня обычно применяют изверженные (граниты, гранодиориты, габбро, диориты, долериты и др.), метаморфические (гнейсы, кварциты, мраморы и др.) и осадочные (известняки, доломиты) горные породы. Перечисленный комплекс изверженных пород выделяется в большинстве случаев повышенными значениями удельного электрического сопротивления (ρ), плотности (δ), магнитной восприимчивости (χ), скорости продольных волн (v_p), общей радиоактивности (γ). Для всей группы изверженных и метаморфических пород, параметр ρ изменяется в широких пределах (от

200–500 до $n10^5$ Ом·м). При этом изверженные породы часто обладают более высокими значениями δ , чем метаморфические, а последние по электрическим параметрам являются анизотропными образованиями. Особенно высокое удельное сопротивление имеют известняки и мрамор, которые успешнее всего картируются с помощью электроразведки. По плотности и скорости распространения упругих колебаний, перечисленные комплексы также в большинстве случаев отличаются от вмещающих пород. В связи с этим в случае необходимости детального картирования трещиноватости и определения упругих свойств в естественном залегании (модуль Юнга, коэффициент Пуассона) может быть применена малоуглубинная сейсморазведка [4].

Различия ρ и χ неизменённых и метасоматически изменённых и тектонически нарушенных пород благоприятствуют применению электроразведочных методов в различных модификациях и магниторазведки. Эти методы применяют как на поисковой стадии, так и при разведке месторождений с целью решения следующих задач: 1) оконтуривание границ продуктивных тел в плане и на глубину; 2) выявление в пределах месторождения наиболее монолитных и прочных блоков пород; 3) картирование тектонических нарушений, участков трещиноватых, закарстованных и выветрелых пород; 4) оценка перспективных объектов по радиоактивным свойствам; 5) выявление участков развития сульфидной минерализации; 6) выделение промороженных и многолетнемерзлых пород; 7) оценка горнотехнических и гидрогеологических условий разработки месторождений.

Для решения всех указанных задач чаще всего применяют комплекс методов, включающий электроразведку симметричным электропрофилеированием (СЭП), вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), магниторазведку, реже ВЭЗ методом вызванной поляризации (ВП). Магниторазведка с успехом используется для картирования, оконтуривания диоритовых, габбро-диоритовых массивов и штоков, которые выделяются интенсивными аномалиями ΔT (500–10000 нТл). Электроразведка СЭП обычно применяется на двух разносах, что позволяет определить мощность рыхлых образований и выветрелых пород и в ряде случаев – падение тектонических нарушений. Для определения мощности вскрыш и рельефа коренных пород по отдельным профилям используется ВЭЗ. Для картирования некоторых разновидностей гранитов может быть применено радиометрическое профилирование. Тектонические нарушения картируются с помощью магниторазведки.

В последнее время для получения высококачественных стёкол и производства штапельных, непрерывных и тонких волокон как сырьё используются базальты. Промышленное значение имеют только вулканические стёкла кислого состава (обсидиан, перлит и др.). Месторождения вулканических стёкол и стекловатых пород преимущественно связаны с зонами альпийского тектоногенеза и разделены на вулканогенный и вулканогенно-осадочные типы. Вулканические стекловатые породы преимущественно залегают в виде застывших лавовых потоков и куполовидных вулканических построек. По магнитным свойствам вулканические породы характеризуются в широком диапазоне от $0-800 \cdot 10^{-5}$ ед СИ – кислые и $500-5000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ – основные образования. В магнитных полях им соответствуют резко дифференцированные значения.

При поисках и разведке гравийных и песчано-гравийных месторождений обычно применяют СЭП на двух разносах и ВЭЗ по отдельным профилям. К этому виду сырья (ПГС) отнесены пески, песчано-гравийные, гравийно-галечниковые, галечно-валунные и некоторые другие рыхлые или слабо сцементированные природные смеси грубо- и мелкообломочных пород различного состава, степени окатанности и форм.

Основными генетическими типами месторождений песков и песчано-гравийных материалов являются аллювиальные, флювиогляциальные, моренные, эоловые, морские и озёрные. Продуктивные толщи ПГС представлены линзо- и платообразными залежами мощностью от единиц до нескольких десятков метров с прослоями глин, суглинков, супесей и др., площадью до нескольких десятков квадратных километров и более.

От вмещающих терригенно-карбонатных, вулканических, интрузивных пород ПГС отличаются по ряду физических параметров v , ρ , δ , γ . За счет высокой обводненности, глинистости, продуктивные пласты, горизонты и линзы ПГС выделяются понижением величин электрических сопротивлений, скорости продольных волн, плотности и других параметров. Исключение составляют кварцевые пески и гравийные отложения кварцевого состава, которые картируются повышением сопротивлений и общей радиоактивности. В регионе Дальнего Востока сопротивления ПГС, по данным ранее проведённых работ, составляют: пески и гравий – $70-10000$ Ом·м, суглинки и супеси $10-1000$ Ом·м, глины – $5-30$ Ом·м, соответственно плотность их характеризуется величинами $1,1-2,2$ г/см³, $1,5-2,4$ г/см³, $1,2-2,5$ г/см³.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ СТРОИТЕЛЬНОГО КАМНЯ И ПГС

В качестве примера успешного применения геофизических исследований в пределах Дальневосточного региона рассмотрены геолого-геофизические работы, выполненные ФГУПП “Дальгеофизика” при поисках и разведке Давыдовского месторождения долеритов и Дульдинского месторождения ПГС (рис. 1).

Строительство нефтеналивного терминала на побережье Татарского пролива в п. Де-Кастри Хабаровского края, требующее значительного количества стройматериалов для производства бетонных смесей (щебня, песка), гравия и мягкого грунта для обваловки нефтехранилищ и отсыпки строительных площадок и подъездных путей к ним, послужило поводом для проведения опережающих комплексных геолого-геофизических работ в данном районе.

Вдоль побережья Татарского пролива, к северу от залива Чихачева, протягивается серия эоценовых субвулканических интрузий, в значительной степени разрушенных абразией. Они отлично дешифрируются на аэрофотоснимках, хорошо отпрепарированы в рельефе и наблюдаются в виде крутосклонных горных вершин. Одной из таких вершин является гора Давыдова, представляющая собой останец вулканической постройки эллипсоидной формы, сложенной долеритами эоценового возраста (P_2), размером 500×1000 м. Превышение вершины горы над платообразным слабонаклонным рельефом, сложенным покровной фацией вулканитов сизиманской толщи (базальты, трахибазальты и лавобрекчии базальтов), составляет около 50 м. Результаты бурения показали, что субвулканическая интрузия долеритов имеет форму штока с крутопадающими контактами. Субвулканические долериты незначительно отличаются от покровных разновидностей базальтов более свежим обликом пород, более крупнозернистой структурой и, как показали лабораторные исследования, характеризуются более высокими физико-механическими показателями.

В целом породы покровной и субвулканической фаций сизиманской толщи являются комагматическими, т.е. производными одного и того же мощного эоценового базальтового вулканизма. Долериты, являющиеся полезным ископаемым, как правило, перекрыты крупноглыбовыми делювиальными осыпями (курумниками), которые относятся к вскрышным породам. Мощность их, по данным горных выработок, колеблется от 0,5 до 2,3 метров. Средняя мощность

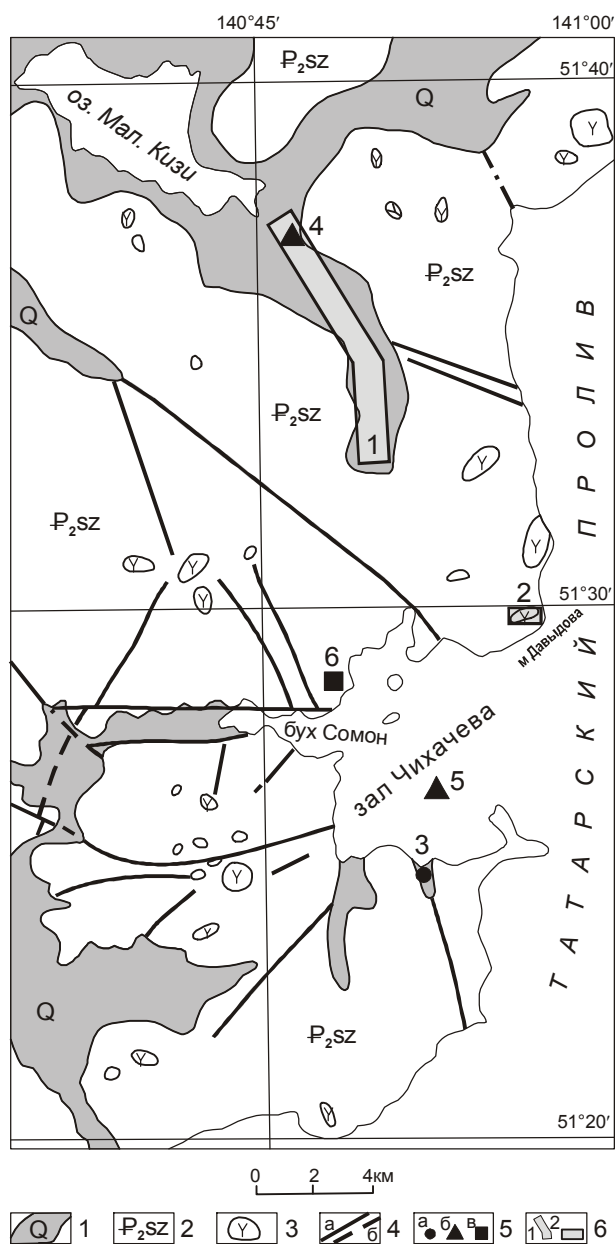


Рис. 1. Геологическая карта (с упрощениями) побережья залива Чихачева с месторождениями строительных материалов.

1 – четвертичные отложения; 2 – эоценовая сизиманская толща: долериты, андезиты, андезибазальты и их туфы; 3 – экструзии долеритов, андезитов, представляющие интерес для выявления месторождений строительного камня; 4 – тектонические нарушения: а – достоверные, б – предполагаемые; 5 – месторождения строительных материалов и их название: а – строительного песка – Круглое (3), б – строительного камня – Дульдинское (4), Декастринское (5), в – глины Де-Кастри (6); 6 – участки работ: 1 – Дульдинский, 2 – Давыдовский.

вскрыши – 1,6 м. Делювий на 70–90% состоит из обломков коренных пород с песчано-глинистым заполнителем. Долериты и трахидолериты – мелко-среднезернистые массивные породы. В краевой части штока преобладают трахидолериты, а в центральной части – главным образом долериты.

Опережающие геофизические исследования проводились на Давыдовском месторождении с целью картирования границ выхода штока долеритов, выделения блоков ненарушенных, наиболее плотных и прочных пород. Работы выполнялись в два этапа: на первом (поисковом) проводились магниторазведка и СЭП с разносами АВ – 80 м по сети 100 × 20 м на площади 0,5 км², по результатам которых были выделены участки выхода долеритов и трахидолеритов, на втором (детализационном) работы осуществлялись на наиболее перспективном участке площадью 0,10 км² по сети 20 × 10 м (магниторазведка и СЭП двухразностной установкой с длиной АВ = 70 м, А₁В₁ = 170 м).

Для более достоверной интерпретации геофизических данных были проведены петрофизические исследования физико-механических свойств долеритов и базальтов. Максимальной плотностью обладают субвулканические тела долеритов – 2,78 г/см³. Наименьшей плотностью – 2,44 г/см³, – при аналогичном минеральном и химическом составе, характеризуются покровные базальты, понижение их плотности обусловлено высокой пористостью.

По величине магнитной восприимчивости изверженные породы слабо дифференцированы, несколько повышенными значениями χ отличаются опять же субвулканические базальты и долериты. Для всех покровных фаций вулканогенных пород характерна высокая, исключительно невыдержанная как по модулю, так и по направлению остаточная намагниченность.

По данным проведенного анализа было установлено, что наиболее низким электрическим сопротивлением (100–500 Ом·м) и высоким значениям ΔT магнитного поля (300–3000 нТл) отвечают покровные фации базальтов, имеющие высокие пористость (17,0–39,0%), водопоглощение (2–10%) и магнитную восприимчивость (500–6000·10⁻⁵ ед. СИ). Наиболее высоким значениям ρ_k (600–2300 Ом·м) и общим понижением ΔT отвечают долериты, которые имеют плотность (2,81–2,89 г/см³), низкие пористость (0,35–1,5%) и водопоглощение (0,1–0,4%), магнитную восприимчивость, составляющую 300–4000·10 ед. СИ. Несколько пониженными значениями ρ_k и ΔT по сравнению с долеритами отличаются трахидолериты, также имеющие более низкие пока-

затели по плотности (2,65–2,79 г/см³), пористости (1,1–2,25 %), водопоглощению (0,7–1,65 %). Трахибазальты относительно покровных базальтов картируются некоторым повышением полей сопротивлений (300–600 Ом·м), понижением магнитного поля (800–1500 нТл) и соответственно понижением плотности (2,5–2,54 г/см³), повышением пористости (25–32 %).

Покровные базальты и трахибазальты сизиманской толщи характеризуются меньшей величиной плотности (2,3–2,75 г/см³, со средней – 2,54 г/см³), повышенной общей пористостью (10–39 %) и несколько пониженной величиной магнитной восприимчивости (500–3000·10⁻⁵ ед. СИ, в среднем – 900·10⁻⁵ ед. СИ).

Естественная радиоактивность пород низкая, мощность экспозиционной дозы по результатам аэро- и наземных измерений обычно не превышает 10–15 мкР/час.

По результатам геофизических исследований, проведенным на участке Давыдовском, было установлено, что электрическое и магнитное поля носят дифференцированный характер. Наиболее высокие электрические сопротивления фиксируются в центральной части участка Давыдовский, образуя аномалию овальной формы. В магнитном поле наиболее интенсивные положительные аномалии располагаются по периферии участка, а центральная часть отвечает в большей степени слабоотрицательному магнитному полю. С целью идентификации полученных аномалий и литологического картирования пород участка были построены различные корреляционные зависимости геофизических параметров и данных определений физико-механических свойств. Полученные зависимости были сопоставлены с определениями вещественного состава пород по результатам петрографических описаний и геологических наблюдений, по описаниям маршрутов, канав и скважин.

Верхний слой делювиально-элювиальных отложений в ряде случаев (при повышенной мощности) фиксируется на установке СЭП с малыми разносами АВ = 30 м высокими значениями ρ_k (до 10000 Ом·м), что объясняется проведением работ в ранние весенние месяцы и влиянием мерзлоты. На больших разносах СЭП с АВ = 80 м глубинность исследования составляла 8–15 м, мерзлотные условия грунтов не оказывали влияния на величину сопротивления. При корреляционном анализе электрического поля ρ_k и физических параметров использовались в основном данные, полученные с установкой АВ = 80 м. Работы СЭП установкой АВ = 30 м проводились только на профилях детализации. Глубинность исследований составляет 3–5 м. На измерения кажущегося сопро-

тивления пород ρ_k накладываются повышенные электрические сопротивления мерзлых грунтов верхней части разреза. Это нашло своё отражение в морфологии поля ρ_k участка детализации работ с установкой АВ = 30 м. Тектонические нарушения выделяются в полях ρ_k и ΔT понижением значений и трассируются по линейно-вытянутым аномалиям северо-восточного простирания.

По результатам интерпретации геофизических полей построена литологическая карта, которая затем редактировалась с учётом геологических наблюдений. Несколько уточнена юго-западная граница выхода долеритов, так как здесь в долеритах значительно возрастает роль оливина, который понижает кажущееся сопротивление ρ_k до 400–500 Ом·м и магнитное поле ΔT до 400 нТл. Выделенные по геофизическим данным тектонические нарушения северо-восточного простирания находят выражение в морфологии рельефа. Особенно чётко фиксируется южный разлом, имеющий большие проработку и протяжённость по сравнению с другими разломами. На наличие этого разлома на глубине указывает и повышенная трещиноватость пород в скважинах.

По проведённому геофизическому картированию выделяется субвулканическая структура, центральную часть которой представляет долеритовое ядро, боковые фации сложены трахидолеритами. Базальты юго-западной части, возможно и трахибазальты, примыкающие к выходам долеритов и трахидолеритов, по физико-механическим свойствам аналогичны субвулканическим породам. Они имеют повышенные значения плотности (2,62–2,75 г/см³) и фиксируются понижением значений кажущегося сопротивления пород и магнитного поля. По минеральному составу этих базальтов, определенному в шлифах, они так же, как и долериты, характеризуются повышением содержания оливина, что может свидетельствовать о едином магматическом очаге этих пород. Кроме выделенного по геолого-геофизическим данным штокообразного тела долеритов выделяется ещё два участка на западе исследуемой площади с повышенными характеристиками плотности, электрического сопротивления, соответствующие трахидолеритам. В связи с этим, возможно, выделенные участки представляют собой апофизы трахидолеритов, соединяющиеся на глубине с главным штоком долеритов. На севере участка выделяется ещё одно мелкое тело трахидолеритов, вероятно, по своим характеристикам прочности, пористости пригодные для производства щебня. Выделенные по геофизическим данным выходы долеритов и трахидолеритов изучались на глубину скважинами

до горизонта 180 м. Мощности полезного ископаемого, вскрытые разведочными выработками, изменяются от 79 м в центре месторождения до 32 м в его краевой части.

По данным геофизических и петрофизических исследований, породы месторождения в приповерхностной части подвергнуты наиболее интенсивному физическому (морозному) выветриванию до глубины 1,5 м от поверхности коренных пород. Это подтверждается и повышенной трещиноватостью в этом интервале разреза, отмечаемой по материалам геологической документации канав, шурфов и скважин.

Разрывные нарушения, по данным геофизических работ, закартированы только за пределами месторождения. Они имеют северо-восточное и субмеридиональное простирание и тяготеют преимущественно к экзотактовой части долеритовой субинтрузии. Система сопряжённых трещин отдельности, образовавшихся под воздействием внутренних напряжений в процессе внедрения и остывания штока долеритов, повсеместно устанавливается при документации обнажений, канав и шурфов. Установлено три основных системы трещин: 1) азимут падения $0-35^\circ$, угол падения $80-85^\circ$; 2) азимут падения $160-190^\circ$, угол падения $50-70^\circ$; 3) азимут падения $110-160^\circ$, угол падения $10-30^\circ$. Преобладающая трещиноватость имеет углы падения $50-80^\circ$, что придаёт породам столбчатую отдельность. Количество трещин на 1 п. м колеблется от 6 до 10–15. Трещины преимущественно закрытые, прямолинейные, прямолинейно-извилистые, извилистые. Часто поверхность трещин покрыта гидроксидами железа, оксидами марганца, плёнками карбонатов.

С целью определения морфологии тел, углов их падения и развития на глубину была построена модель по геолого-геофизическим данным с учетом геоморфологических исследований. По результатам полуколичественной интерпретации геофизических данных, субвулканическое тело долеритов имеет штокообразную форму с крутыми углами падения в северо-западной части тела и сближением границ его на глубину (т.е. факелообразную форму). Процесс образования субвулканических тел, вероятно, проходил следующим образом. В первую очередь внедрялась более подвижная фаза базальтов, трахибазальтов, затем происходило медленное продвижение долеритовой фации, краевая часть которой за счёт ассимиляции вмещающих пород раскислялась, образуя при застывании языкообразные выходы трахидолеритов. Особенно широко такие сложные по форме выходы трахидолеритов характерны для южной и восточной частей субвулканического тела.

Южная ветвь апофизы трахидолеритов осталась не оконтуренной геофизическими исследованиями, возможно она имеет более пологое падение и с глубиной, вероятно, имеет тенденцию к выклиниванию.

По результатам морфометрического анализа, штокообразное субвулканическое тело долеритов имеет овальную форму, вытянутую в северо-восточном направлении на 380 м, малая ось его составляет около 200 м. Резкий градиент изменения высотных отметок указывает на более крутое падение границ северо-западной части тела. Северная часть массива имеет более крутое падение, чем юго-западная. В постмагматическое время по этой границе происходило заложение разлома, также имеющего крутое южное падение. Прочностные свойства пород массива, по данным петрофизических исследований, с глубиной возрастают, по крайней мере с глубины 5 м, достигая устойчивых высоких показателей на глубинах 10–20 м.

Учитывая форму залегания полезного ископаемого (шток с крутыми контактами), можно прогнозировать глубину отработки его не менее 50 м. Перспективы наращивания запасов месторождения могут быть увеличены за счёт доразведки его северо-восточного фланга. Наибольшие перспективы добычи строительного камня на глубину представляет юго-западный фланг сооружения, сложенный долеритами, вероятно, выполняющими подводящий канал субвулкана.

В соответствии с «Инструкцией по применению классификации запасов к месторождениям строительного и облицовочного камня» Давыдовское месторождение долеритов относится ко II группе сложности геологического строения по типу штоков с невыдержанными качественными показателями полезного ископаемого и слабым развитием разрывной тектоники.

Для пространственной характеристики физико-механических свойств горных пород на Давыдовском месторождении были использованы корреляционные зависимости электрических сопротивлений и прочности, пористости, плотности (рис. 2–6). Наиболее высокие коэффициенты корреляции установлены между электрическими сопротивлениями и прочностью (пористостью). Величина их соответственно составляет $r = 0,77$ ($r = -0,76$). Подобные зависимости авторами были установлены и ранее на Тугурском месторождении строительного камня [3]. Согласно полученным корреляционным связям, с учётом данных магниторазведки и петрофизических исследований, были построены карты прочности, пористости, морозостойкости и плотности пород в масштабе

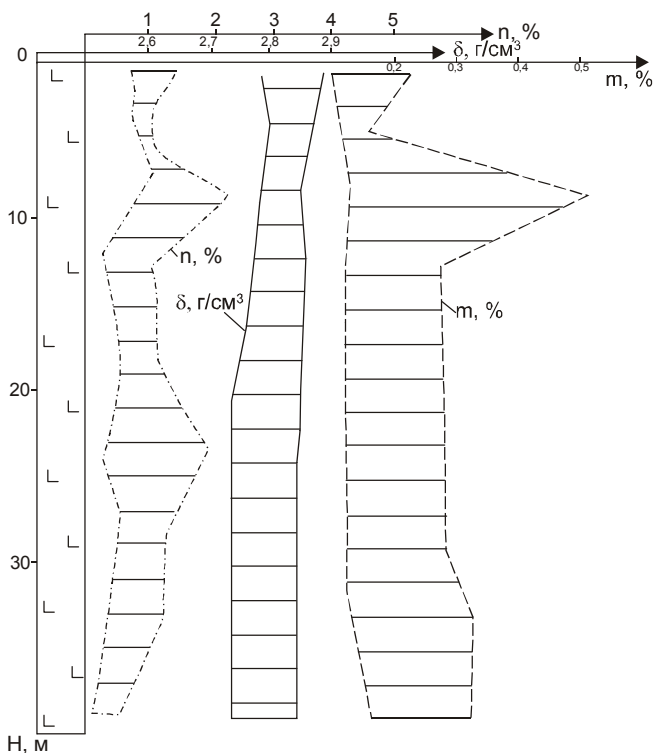


Рис. 2. Характер изменения плотности (δ , г/см³), пористости (n , %) и водонасыщенности (m , %) долеритов с глубиной (по скважинам).

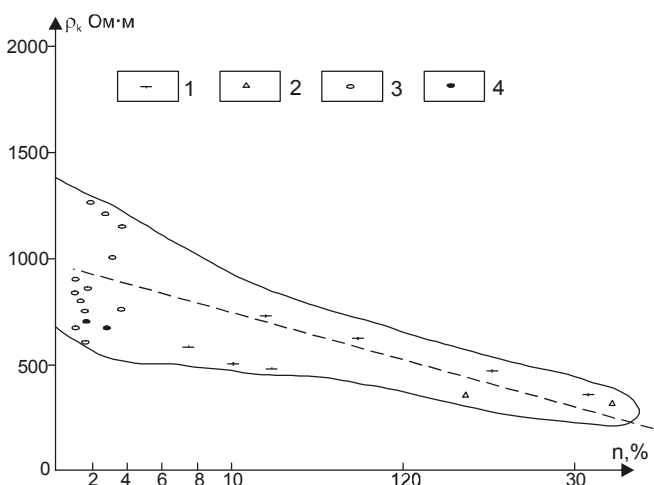


Рис. 3. Диаграмма корреляционной зависимости электрического сопротивления и пористости.

1 – базальты, 2 – трахибазальты, 3 – долериты, 4 – трахидолериты.

1:1 000. На картах наиболее высокие значения прочности, морозостойкости и плотности располагаются в центральной части субинтрузивного тела долеритов. Менее прочны и морозостойки трахидолериты краевой части субинтрузии.

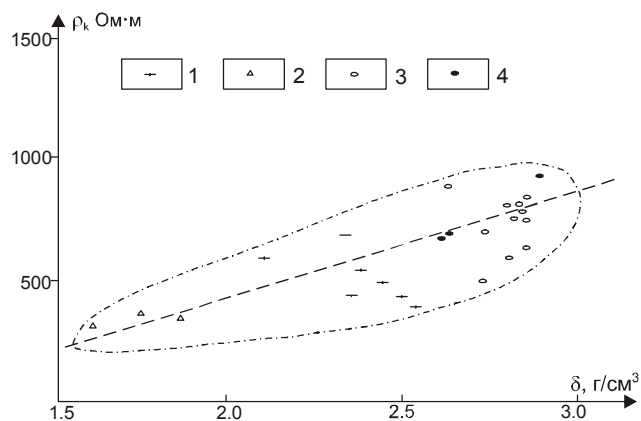


Рис. 4. Диаграмма корреляционной зависимости электрического сопротивления и плотности.

Условные обозначения см. на рис. 3

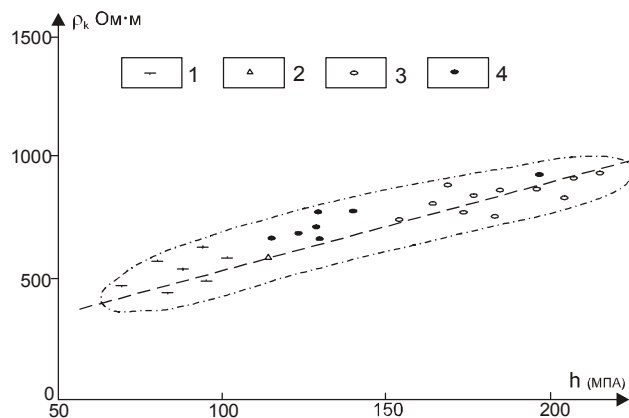


Рис. 5. Диаграмма корреляционной зависимости сопротивления и прочности вулканических образований Давыдовского месторождения.

Условные обозначения см. на рис. 3

Базальты покровные и субинтрузивные, а также трахибазальты имеют весьма низкую прочность и морозостойкие свойства и не удовлетворяют нормам ГОСТа 8267-93, поэтому они не могут быть использованы как строительный камень. На карте плотности наиболее высокие значения σ приурочены к выходам долеритов, занимающих центральную часть. Аномально высоким значениям плотности отвечает юго-западная часть выхода тела долеритов, где повышение плотности связано с увеличением содержания оливина. Карта пористости имеет обратную картину в распределении величин по сравнению с картами плотности, прочности и морозостойкости, здесь центральную часть площади занимают весьма малопористые породы (1,0–0,1%), пространственно совпадающие с выходом долеритов, и малопористые поро-

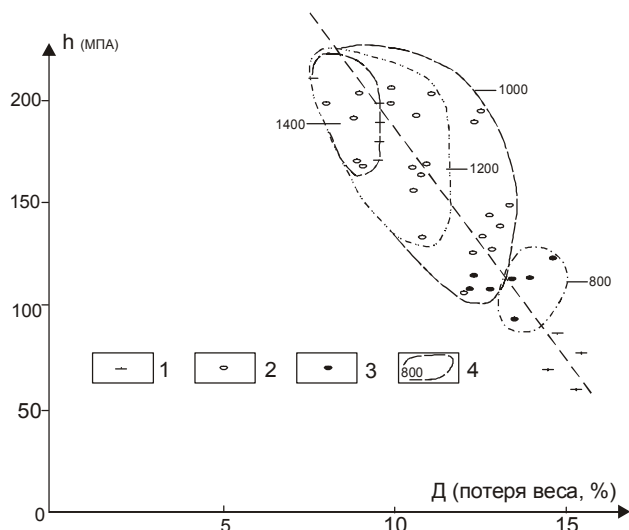


Рис. 6. Диаграмма корреляционной зависимости прочности и дробимости вулканических образований с марками щебня по дробности.

1 – базальты, 2 – долериты, 3 – трахидолериты, 4 – марки щебня по дробности.

ды (1,5–1,0%), отвечающие трахидолеритам. Кроме того, повышение пористости и трещиноватости отмечается в зоне разлома, пересекающего краевую северо-западную часть субинтрузивного тела. Увеличение пористости и трещиноватости отмечается также в восточной части субинтрузивного тела.

Кроме центрального тела долеритов высокими параметрами прочности, морозостойкости и плотности выделяются два участка в западной части исследуемой площади. Возможно, они отвечают апофизам трахидолеритов, которые по своим показателям могут быть пригодны для строительных целей. Учитывая их близость к будущему карьере Давыдовского месторождения, эти участки представляют наиболее перспективные площади к доизучению и расширению запасов. Так как они остались на западе не оконтурированными, в случае получения положительных результатов по данным физико-механических испытаний проб, эти участки следует доизучить геофизическими методами СЭП и магниторазведки.

С целью качественной оценки закартированного субвулканического тела долеритов и трахидолеритов были построены парные корреляционные зависимости физико-механических параметров: влагопоглощения и пористости, прочности и морозостойкости, плотности и общей пористости, прочности и дробимости. Влагопоглощение и пористость имеют прямую зависимость с коэффициентом корреляции $r = 0,78$; морозостойкость и прочность также имеют прямую корреляционную зависимость с величиной

коэффициента $r = 0,75$; прочность и плотность характеризуются прямой зависимостью с коэффициентом $r = 0,72$. На диаграмме прочности и морозостойкости, кроме устойчивой парной корреляции, отчетливо выделяются марки щебня по дробности (рис. 6).

С целью анализа изменения параметров с глубиной по скважинам построены осредненные графики плотности, пористости, прочности, морозостойкости и водопоглощения по долеритам, трахидолеритам, базальтам и трахибазальтам (рис. 2). Как видно на графиках в верхней части разреза все физические свойства имеют значительный диапазон разброса значений, что связано с влиянием процесса выветривания. Для оценки величины влияния процесса выветривания на плотность был произведен расчет теоретической плотности долеритов, базальтов, трахибазальтов.

Главными минералами долеритов по описанию шлифов являются основной плагиоклаз, составляющий 58 % массы (лабрадор, лабрадор-битовнит), со средней плотностью 2,71 г/см³ и пироксен (авгит, пижонит) со средней плотностью 3,24 г/см³, оливин с плотностью 3,4 г/см³. Акцессорные минералы (апатит – плотность 3,2 г/см³, магнетит – плотность 5,17 г/см³) составляют около 2 %, в связи с этим вклад их в общую массу составляет всего 8,37 %. Вторичные минералы (монтмориллонит, цеолит, лимонит) имеют среднюю плотность 2,61 г/см³. Теоретическая плотность долеритов, рассчитанная по преимущественному составу в процентном отношении, составит 2,9 г/см³. По величине теоретической плотности эту породу можно отнести к габбродолериту такситовому, состоящему из сравнительно мелкозернистой пойкилоофитовой основной массы и крупнозернистых участков, представляющих собой гломеропорфировые образования плагиоклаза.

Расчитанные по такой методике теоретические плотности составляют: для трахидолерита – 2,83 г/см³, для базальта оливинового – 2,82 г/см³, для трахибазальта пористого величина теоретической плотности колеблется в интервале 2,66–2,72 г/см³. Расчётные плотности перечисленных пород имеют довольно близкие величины к измеренной “истинной” плотности. Это ещё раз подтверждает, что на дневной поверхности породы подвергались процессам физического, химического выветривания, так как измеренные по стандартной методике значения плотности на сотые, а в некоторых случаях на десятые доли г/см³ ниже теоретических и “истинных” значений. Судя по графикам изменений физических параметров с глубиной, наибольшее влияние процессы выветривания в зоне гипергенеза оказывают на проч-

Таблица. Сопоставление результатов бурения и интерпретации ВЭЗ по Нижнедульдинскому участку.

№ скв.	Профиль	Пикет	Мощность пород вскрыши, м			Мощность ПГС, м		
			Бурение	ВЭЗ	Δ	Бурение	ВЭЗ	Δ
1	16	11	4,5	5,0	-0,5	4,0	5,0	-1,0
2	17	11	3,0	3,8	-0,8	4,7	5,0	-0,3
3	18	11	1,0	1,0	0	3,4	3,6	-0,2
18	19	15	3,5	3,8	-0,3	7,5	7,2	0,3
19	20	13	6,0	5,0	1,0	1,7	2,0	-0,3

ностные и пористостные характеристики базальтов, трахибазальтов и, в меньшей степени, долеритов.

Опережающие электроразведочные работы методом ВЭЗ при поисках участков, перспективных на выявление ПГС, были проведены в верховье р. Дульди с целью определения мощности аллювиальных отложений, расчленения их по гранулометрическому составу, выделения участков с максимальной мощностью песка, песчано-гравийной смеси, глин и суглинков. Для повышения детальности расчленения разреза число разносов было увеличено по сравнению со стандартным в два раза.

Значения кажущегося сопротивления на разносах более 6–10 м находятся в относительно узких пределах от 10 до 300 Ом·м. По величине этого параметра ещё до проведения заверочных буровых работ было высказано предположение об отсутствии в разрезе рыхлых отложений крупноглыбовых и чисто гравийных отложений. Тип кривых ВЭЗ достаточно разнообразен, но для всех характерно наличие в средней части одного или двух низкоомных горизонтов, соответствующих породам глинистого состава, и опорного высокоомного горизонта, соответствующего коренным породам.

Обобщенную геоэлектрическую модель участка можно представить как горизонтально-слоистую толщу, в составе которой выделяется пять основных горизонтов.

Первый от поверхности горизонт соответствует почвенно-растительному слою. Сопротивление его меняется в широких пределах от 100 до 1500 Ом·м, мощность обычно не превышает 1 м. Для северо-восточной части месторождения первому горизонту отвечает слой сезонной мерзлоты. Сопротивление слоя сотни, тысячи Ом·м, мощность от 1 до 5 м. Таким образом, мерзлота охватывает почвенно-растительный слой и частично нижележащие горизонты, не позволяя их расчленять.

Второй горизонт, сопротивлением 90–200 Ом·м, соответствует песчано-гравийной смеси. Он прослеживается в основном в прирусловой части долины р. Дульди и либо выклинивается, либо замеща-

ется суглинками. Мощность горизонта у борта долины достигает 11 м.

Третий горизонт, сопротивлением 30–90 Ом·м, мощностью до 40 м, отвечает суглинкам, при увеличении количества обломочного материала его сопротивление повышается.

Четвёртый горизонт, сопротивлением 10–30 Ом·м, представлен слоем глин, возможно – корой выветривания. Мощность его в среднем около 30 м.

Пятый, опорный горизонт – коренные породы, представлены вулканогенными и вулканогенно-осадочными образованиями. Сопротивление базальтов и андезитов составляет 100–300 Ом·м, туфов – 50–90 Ом·м.

Следует отметить, что такое строение разреза выдерживается не всегда, на некоторых профилях суглинки, редко глины могут залегать выше слоя песчано-гравийной смеси. Общая мощность рыхлых отложений и глинистой коры выветривания колеблется от 15 до 70 м.

Результаты интерпретации ВЭЗ позволили выделить участки, перспективные на выявление песчано-гравийной смеси и суглинков, для проведения буровых поисково-разведочных работ.

В таблице приведено сопоставление результатов бурения и интерпретации ВЭЗ по Нижнедульдинскому участку, сходимость данных вполне удовлетворительная, среднее расхождение составляет 14% и 9 %, соответственно, для пород вскрыши и ПГС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные результаты опережающих комплексных геофизических и петрофизических исследований на Давыдовском месторождении долеритов и Дульдинском месторождении ПГС показали их высокую эффективность при поисках и разведке строительного камня, гравийных, песчаных и песчано-гравийных грунтов. Привлечение большого количества петрофизических параметров и установление корреляционных связей между электрическими сопротивлениями и величинами прочности, пористости, намагниченности и вещественным составом пород по-

зволили откартировать выходы наиболее прочных пород, пригодных для использования их в качестве стройматериалов. Это позволило значительно сократить объемы и сроки горных работ по оценке и разведке месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вахромеев Г. С. Основы методологии комплектования геофизических исследований при поисках рудных месторождений. М.: Недра, 1978. 153 с.
2. Геофизические методы поисков и разведки неметаллических полезных ископаемых / Под ред. П.В. Вишневого, Г.С. Вахромеева, И. Л. Шаманского. М.: Недра, 1984. 223 с.
3. Копылов М.И., Романовский Н.П. К вопросу о комплексировании геофизических и петрофизических методов при изучении месторождений нерудного сырья // Геофизические исследования геологических структур Дальнего Востока. Владивосток, 1982. С. 39–42.
4. Палагин В.В., Попов А.Я., Дик П.И. Сейсморазведка малых глубин. М.: Недра, 1989. С. 208–209.

Поступила в редакцию 6 мая 2005 г.

Рекомендована к печати Н.П. Романовским

M.I. Kopylov, I.V. Pustovoitova

The potentialities for integrated geophysical and petrophysical investigations in prospecting and exploration of building materials within the Far East

The conduction of leading integrated geophysical and petrophysical investigations makes it possible to use different correlation dependencies between physical-and-mechanical properties of rocks and geophysical parameters aimed at distinguishing the most promising areas for prospecting of building materials (stone, sand, and clay), which essentially facilitates the process of the study of a deposit and reduces the volume of high-priced mining and laboratory procedures.

Key words: prospecting, exploration, magnetic exploration, electrical exploration, physical-and-mechanical properties, dolerites, PGS, deposits, Davydovskoe, Duldinskoe, De-Kastri, Khabarovsk Territory.